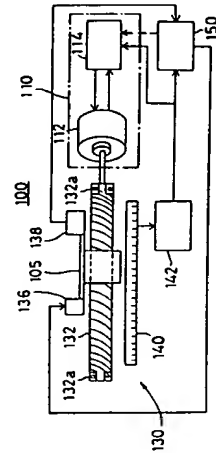


(54) OSCILLATION SUPPRESSED DRIVING DEVICE

(11) 2-82303 (A) (43) 22.3.1990 (19) JP
 (21) Appl. No. 63-236126 (22) 19.9.1988
 (71) MITSUTOYO CORP (72) TAKASHI MIZUTANI(1)
 (51) Int. Cl.⁵ G05D3/12

PURPOSE: To suppress oscillation of a mobile part due to disturbance torque during movement by providing an oscillation compensating part besides the mobile part, a driving power transmission part, and a driving part for the purpose of calculating the extent of disturbance torque to cancel the disturbance torque with a negative signal having the same extent.

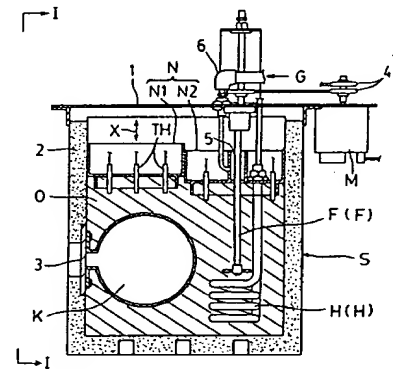
CONSTITUTION: A table 105 whose relative position is changed by rotation of a ball screw 132 is provided with an oscillation suppressor 136 and an accelerometer 138. The position signal of the table 105 is detected by a position detector 142 and is sent to a motor driver 114 of a driving part 110 and an oscillation compensating part 150. Meanwhile, the oscillation compensating part 150 receives the signal of acceleration of the table 105 from the accelerometer 138 and sends an oscillation suppression signal to the oscillation suppressor 136 or the motor driver 114 for the purpose of suppressing oscillation of the table 105, and it is fed back. Since the disturbance torque of a driving device is included in a servo system in this manner, oscillation of the mobile part 105 due to disturbance torque is suppressed.

**(54) THERMOSTATIC OIL TANK**

(11) 2-82304 (A) (43) 22.3.1990 (19) JP
 (21) Appl. No. 63-235262 (22) 20.9.1988
 (71) HORIBA LTD (72) YUKINOBU FUJIYAMA(1)
 (51) Int. Cl.⁵ G05D23/00, G01J5/02

PURPOSE: To prevent oxidation of stored oil due to oxygen in air by constituting an inner cover into a vertically movable floating cover, always purging the space above this cover with inert gas.

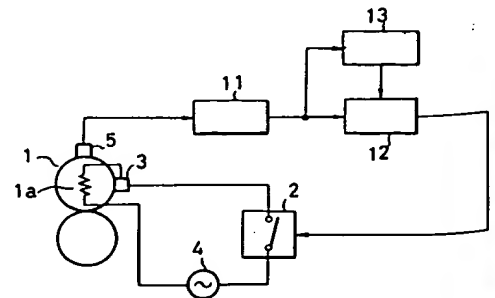
CONSTITUTION: An inner cover V is provided in a tank S so that it is brought into contact with the whole of the surface of a stored oil O, and at least a part of the inner cover N is constituted into a floating cover N2 which can be vertically moved in accordance with displacement of the surface of stored oil. The space above the inner cover N is always purged with inert gas G. Thus, the area of evaporation of stored oil O is almost all eliminated to suppress the amount of evaporation as much as possible, and degradation and a gelling phenomenon of stored oil O due to oxidation are difficult to occur, and the life of stored oil O and the uniform temperature control of high precision are secured for a long time.

**(54) TEMPERATURE CONTROLLER**

(11) 2-82305 (A) (43) 22.3.1990 (19) JP
 (21) Appl. No. 63-235312 (22) 20.9.1988
 (71) TOSHIBA CORP (72) TETSUJI MATSUO
 (51) Int. Cl.⁵ G05D23/19, G03G15/20, G05D23/00, H05B3/00

PURPOSE: To surely raise the temperature to a control target temperature by stopping power supply to a heating element at a set power supply stop temperature and starting the power control of the heating element at the time of detecting the fall of the temperature of an object to be heated by a temperature fall detecting means.

CONSTITUTION: When the fall of the temperature is detected by a temperature fall detector 13, a control part 12 waits for the fall of the temperature to a value lower than the control target temperature. When the temperature falls to a value lower than the control target temperature, the control part 12 turns on a switch 2 to restart power supply to a heater 1a, and a heat roll 1 is heated. Next, the control part 12 waits for the rise of the temperature to a value higher than the control target temperature, and the control part 12 turns off the switch 2 when the temperature exceeds the control target temperature. This processing is repeated. Thus, overshoot does not occur at the time of rise, and the temperature is surely raised to the control target temperature.



⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-82303

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)3月22日

G 05 D 3/12

3 0 5 Z

8209-5H

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全14頁)

⑮ 発明の名称 振動抑制駆動装置

⑯ 特 願 昭63-236126

⑰ 出 願 昭63(1988)9月19日

⑱ 発 明 者 水 谷 隆 神奈川県川崎市高津区坂戸165番地 株式会社ミットヨマ
イクロコード本部内

⑲ 発 明 者 大 庭 信 男 神奈川県川崎市高津区坂戸165番地 株式会社ミットヨマ
イクロコード本部内

⑳ 出 願 人 株式会社ミットヨ 東京都港区芝5丁目31番19号

㉑ 代 理 人 弁理士 岩橋 祐司

明 細 書

1. 発明の名称

振動抑制駆動装置

2. 特許請求の範囲

(1) 所望の移動が可能な可動部と、

該可動部に所定の駆動力を伝達する駆動力伝達部と、

該駆動力伝達部に接続され、これに駆動力を加える駆動部と、

前記駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出し、該外乱トルク量を駆動力伝達部または前記駆動部にフィードバックして発生する外乱トルクを打消し、該外乱トルクによる前記可動部の振動を抑制する振動補償部と、

を備えることを特徴とする振動抑制駆動装置。

(2) 請求項(1)記載の振動抑制駆動装置において、

前記振動補償部は外乱トルク量を、

ラプラス変換式 $J_s \{ S^2 + 2\zeta\omega_n S \}$ (ここで、 J_s は前記駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ は前記可動部の振動減衰係数、 ω_n は該可動部の固有振動係数)で求めることを特徴とする振動抑制駆動装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は駆動装置、特に駆動力伝達部の弾性に基づく可動部の振動を抑制する振動抑制駆動装置に関する。

〔従来の技術〕

近年、極めて高精度の加工あるいは測定等のため各種工作機械、X-Yテーブル、測定機等には可動部を正確に移動制御する駆動装置が強く要望されている。このような駆動装置としては、従来モータ等の駆動部より、例えばボールネジ等の駆動力伝達部を介して該駆動力伝達部に接続された

可動部（例えばテーブル、測定用プローブ等）を所定の移動制御しているものが多い。

この場合、可動部を所定位置に位置決めするために、可動部の位置を検出し、その位置信号等を駆動部にフィードバックして可動部の位置を制御するのが一般的である。

第11図にこのような従来の駆動装置のサーボ系におけるブロック線図の一例を示す。同図におけるブロック線図は、本来二軸系、三軸系において論ずべきものであるが、説明の便宜上一軸系を示している。

同図に示す駆動装置は、駆動部を構成するDCモータ10と、該DCモータ10の駆動力をボールネジ等を介して伝達する駆動力伝達部12と、該駆動力伝達部12より駆動力を伝達され所定の運動を行なう可動部14と、を含む。そして、DCモータ10は位置制御部16より加え合わせ点18、速度補償器20、加え合わせ点22、電流補償器24、ドライバ26により駆動される。また、駆動力伝達部12は所定の駆動力伝達特性に

より可動部14に変位 θ_4 の駆動量を与える。

ここで、位置制御部16はカウンタ16a、位置制御器16b及びD/A変換器16cを備える。また、ドライバ26の後段（出力端）には電流検出器28を備え、加え合わせ点22に負の信号により電流フィードバックを行なっている。さらに、DCモータ10の回転はタコメータ30を介して加え合わせ点18に負の信号により速度フィードバックを行なっている。また、DCモータ10の駆動に基づく可動部14の移動はスケール32のスケール信号（位置信号）として位置制御部16のカウンタ16aに位置フィードバックを行なっている。この位置制御部16ではマイクロコンピュータ等を用いてソフト的に位置制御処理を行ない、加え合わせ点18、速度補償器20、加え合わせ点22、電流補償器24及びドライバ26でハード的に速度制御、電流制御処理を行ない、これらソフト的処理及びハード的処理により駆動制御を行なう。また、DCモータ10及び駆動力伝達部12において機械的処理を行なう。

- 3 -

このようなサーボ系を簡単に説明すると、まず位置制御部16で可動部14の所望の運動を設定し、その設定量に応じてドライバ26によりDCモータ10を駆動する。DCモータ10が所定の電流によって駆動しているか否かを電流検出器28により検出すると共に、その検出量を加え合わせ点22に負の信号としてフィードバックし、電流補償器24によりDCモータ10に所望の電流を供給すべく補償している。

また、DCモータ10の回転はタコメータ30により検出すると共に、その検出量は加え合わせ点18に負の信号としてフィードバックされ、速度補償器20によりDCモータ10が所定速度で回転すべく補償している。

さらに、可動部14の位置はスケール32により検出され、スケール信号として位置制御部16のカウンタ16aにフィードバックして位置制御器16bにより駆動量を補正し、D/A変換器16c等を介して可動部14の位置制御を行なっている。

- 5 -

次に、第12図に第11図におけるDCモータ10及び駆動力伝達部12の駆動系の負荷モデルを示す。ここでは負荷を剛的に結合した場合について説明する。同図において、駆動系の負荷をモータ側の負荷と駆動力伝達部側の負荷とに分け、モータ側の J_1 はモータの慣性モーメント、 D_1 は粘性摩擦係数であり、駆動力伝達部側の J_2 は駆動系慣性モーメント、 D_2 は粘性摩擦係数である。また、 τ_1 はモータのロータへの印加トルク、 θ_1 (ω_1) はモータのロータの回転変位（角速度）、 θ_2 (ω_2) は駆動力伝達部12の変位（角速度）である。

この場合の運動方程式は以下の式ようになる。

$$\tau_1 = J_1 \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + D_1 \frac{d \theta_1}{dt} + J_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} + D_2 \frac{d \theta_2}{dt} \quad \dots (A)$$

(A) 式をラプラス変換すると、

$$\tau_1(s) = J_1 s^2 \theta_1(s) + D_1 s \theta_1(s) + J_2 s^2 \theta_2(s) + D_2 s \theta_2(s)$$

$$\tau_m = J_m S^2 \theta_m + D_m S \theta_m + J_s S^2 \theta_s + D_s S \theta_s$$

となり、ここで $\theta_m = \theta_s$ (剛的結合) であるから、
 $\tau_m = (J_m S^2 + D_m S + J_s S^2 + D_s S) \theta_s \cdots (B)$
 となる。

従って、モータのロータの印加トルク τ_m と駆動力伝達部の変位 θ_s との伝達特性は、

$$\frac{1}{(J_m + J_s) S^2 + (D_m + D_s) S}$$

となり (第13図 (A))、角速度 ω_s を分離すると第13図 (B) のようなブロック線図となる。

また、上記駆動系の負荷モデルに DC モータ 10 の電気的特性を含めたブロック線図が第13図 (C) に示される。ここで、伝達特性のうち L は電機子巻線のインダクタンス、 R は電機子巻線の抵抗、 Ψ は電機子鎖交磁束 (トルク定数) である。

このように、従来の駆動装置は上記のような駆動力の伝達特性を前提としたサーボ系によって制御されている。

[発明が解決しようとする課題]

ところで、DC モータ 10 と結合する駆動力伝達部 12 には剛性 K_s (第2図参照) があり、駆動力伝達部 12 の変位 θ_s によって剛性 K_s が発生し、これに起因する外乱トルクが存在するものである。しかしながら、従来の駆動装置における上記サーボ系による制御は、ブロック線図からも明らかなように DC モータ 10 を駆動する電流、その速度及び移動する可動部 14 の最終的な位置をフィードバックしているのみで、駆動中の駆動力伝達部 12 の変位 θ_s に伴う剛性 K_s による外乱トルクが考慮されていない。すなわち、実際上存在するモータ 10 と結合する駆動力伝達部 12 の剛性 K_s を無視して、第12図のように剛的結合として取扱ってきた。従って、この外乱トルクが可動部 14 の運動中に振動となって現れる。すなわち、この外乱トルクによって可動部 14 の運動軌跡にブレを生じ、速度制御の精度や位置制御の精度を向上することができないという問題があった。

第14図に、この場合における可動部 14 が設

- 7 -

定位置に達するまでの速度と位置との関係を示す。同図において、設定位置 t までの速度は滑らかな台形状の破線で示す軌跡を描くことが理想であるが、上記外乱トルクのために実際には実線で示す波型となり振動状態となる。この振動の振幅を小さくして精度を向上させるために、速度フィードバックや位置フィードバックのハイゲイン化が考えられるが、これによっても多少の振動抑制効果はあるが大幅な効果がなく精度の向上が図れなかった。

この結果、従来の駆動装置を用いた測定機等では測定精度の向上に限界が生じ、また、精密加工機等でも加工精度のより一層の改善の支障となっていた。

本発明は上記従来技術の課題に鑑みなされたもので、その目的は外乱トルクによる可動部の移動中の振動を抑制して速度制御、位置制御の精度を向上させる振動抑制駆動装置を提供せんとするものである。

- 9 -

- 8 -

[課題を解決するための手段]

本発明の振動抑制駆動装置は上記課題を解決するために、従来のサーボ系で考慮されていなかった外乱トルクをサーボ系に含めることに着目し、この外乱トルク量を算出して同量の負の信号により当該外乱トルクを打消すべく可動部、駆動力伝達部、駆動部に加えて振動補償部を備えたものである。

ここで、駆動力伝達部は駆動部に結合されると共に、可動部が接続されている。

また、振動補償部は駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出し、この外乱トルク量を駆動力伝達部または駆動部にフィードバックを行なう。

ここで、この振動補償部で算出される外乱トルク量は、ラプラス変換式 $J_s (S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S)$ (ここで、 J_s は駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ_s は可動部の振動減衰係数、 ω_{ns} は可動部の固有振動係数) により求めることが好適である。

[作用]

- 10 -

本発明の振動抑制駆動装置は可動部、駆動力伝達部、駆動部と共に振動補償部を備えている。この振動補償部は駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出すると共に、この外乱トルク量を駆動力伝達部または駆動部にフィードバックする。これにより駆動力伝達部に発生する外乱トルクを打消し、外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

また、この補償回路部で算出される外乱トルク量は、結果的にラプラス変換式 $J_s \{S^2 + 2\zeta\omega_n S\}$ で求めることが可能である。ここで、 J_s は駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ は可動部の振動減衰係数、 ω_n は可動部の固有振動係数である。すなわち、 J_s 、 ζ 、 ω_n は駆動装置固有の係数値として実験的に求めることができ、外乱トルク量を駆動装置のサーボ系に含めることが可能となる。

〔実施例〕

以下、本発明の好ましい実施例を図により説明

— 11 —

駆動部 110 のモータドライバ 114 及び振動補償部 150 に位置信号を送出する。

一方、振動補償部 150 は加速度計 138 よりテーブル 105 の加速度の信号を受信し、テーブル 105 の振動を抑制すべく振動抑制信号を振動抑制器 136 またはモータドライバ 114 に送出してフィードバックする。この場合、振動抑制器 136 またはモータドライバ 114 のどちらかに振動抑制信号をフィードバックするとしたのは、どちらでもテーブル 105 の振動を抑制することが可能であり、モータドライバ 114 にフィードバックする場合にはモータ 112 の電気的特性をフィードバック量に含めることが必要である。

ここで、第 2 図に振動抑制器 136 の一例の部分図を示す。同図において、テーブル 105 が箱状の保持部材 106 に載置されており、保持部材 106 とテーブル 105 との側部に該保持部材 106 及びテーブル 105 に当接して圧電素子 107 を設けている。そして、この圧電素子 107 が振動補償部 150 に接続されるものである。

— 13 —

する。

第 1 図に本発明の振動抑制駆動装置の概念図を示す。なお、本実施例では便宜上一軸系のみについて説明する。同図において、振動抑制駆動装置 100 は可動部 105、駆動部 110、駆動力伝達部 130 及び振動補償部 150 によって構成されている。

駆動部 100 はモータ 112 とこれを駆動させるモータドライバ 114 により構成される。また、駆動力伝達部 130 はモータ 112 の回転軸にはボールネジ 132 がベアリング等の連結部 132a を介して直接に接続されている。また、ボールネジ 132 にはその回転により相対位置を変更するテーブル等の可動部 105 が螺合して設けられ、該テーブル 105 に振動抑制器 136 及び加速度計 138 が設けられている。

さらに、ボールネジ 132 には位置スケール 140 が並設され、これに位置検出器 142 が設けられており、テーブル 105 の位置信号を位置検出器 142 により検出する。位置検出器 142 は

— 12 —

次に、第 1 図に示す振動抑制装置の動作について説明する。まず、可動部であるテーブル 105 を所定位置に移動すべくその設定量がモータドライバ 114 に記憶されており、これによりモータ 112 がボールネジ 132 を回転させる。この場合にモータドライバ 114 はモータ 112 が所定電流、所定速度で駆動しているか否かをフィードバックにより制御している（第 10 図参照）。また、テーブル 105 の位置変位は位置スケール 140、位置検出器 142 により検出し、モータドライバ 114 を介してモータ 112 を制御する。

一方、振動補償部 150 は、位置検出器 142 からの位置信号と可動部 105 に設けられた加速度計 138 からの加速度信号により、駆動力伝達部 130、特にボールネジ 132 で発生する外乱トルク量を算出する。そして、算出した外乱トルク量を駆動部 110 のモータドライバ 114 または駆動力伝達部 130 の振動抑制器 144 にフィードバックする。すなわち、発生した外乱トルクと同量の信号をフィードバックすることによって

— 14 —

外乱トルクを打消し、外乱トルクによって生ずる可動部105の振動を抑制するものである。

次に、動作原理を説明すると共に、従来把握が困難であった可動部の振動の原因となる外乱トルクをサーボ系に含めることが可能となることを明らかにする。上記振動抑制駆動装置100は第3図の駆動系の負荷モデルによって表される。同図において、駆動系の負荷をモータ側の負荷と駆動力伝達部側の負荷とに分け、モータ側の負荷のうち J_m はモータ112の慣性モーメント、 D_m は粘性摩擦係数であり、駆動力伝達部側の負荷のうち J_s は駆動力伝達部130の駆動系慣性モーメント、 D_s は粘性摩擦係数である。また、 K_s はモータ112の回転軸と駆動力伝達部130のボールネジ132とをそれぞれ弾性体と考えた場合の剛性値、 τ_m はモータ112のロータへの印加トルク、 θ_m (ω_m) はモータ112のロータの回転変位 (角速度)、 θ_s はボールネジ132の回転変位である。この場合、モータ112のロータにトルク τ_m が発生したときのモータ側 (入力側) で

- 15 -

$$\theta_s = \frac{K_s (\theta_m - \theta_s)}{(J_s S^2 + D_s S)} \quad \dots (F)$$

となり、この場合のブロック線図は第4図(B)に示される。

これらを結合してトルク τ_m とボールネジ132の回転変位 θ_s 間における伝達要素のブロック線図が第4図(C)に示される。

また、検出器等による速度フィードバック、位置フィードバックを考慮し、さらに等価変換すると第4図(D)のブロック線図となる。同図において、破線Y内の各伝達要素内の伝達特性を伝達関数 $G_s(S)$ で表して整理すると、

$$G_s(S) = \frac{K_s / (J_s S^2 + D_s S)}{1 + K_s / (J_s S^2 + D_s S)} \\ = \frac{\omega_{ns}^2}{S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S + \omega_{ns}^2} \quad \dots (G)$$

となる。ここで、 ω_{ns}^2 は K_s / J_s 、 $2\zeta_s \omega_{ns}$ は D_s / J_s と置換えたもので、 ω_{ns} はテーブル105の固有振動係数であり、 ζ_s はその振動減衰係数である。すなわち、 $G_s(S)$ は上式からも明

- 17 -

は以下の運動方程式が成立つ。

$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = \tau_m - D_m \frac{d \theta_m}{dt} - K_s (\theta_m - \theta_s) \quad \dots (C)$$

また、駆動力伝達部側 (出力側) では以下の運動方程式が成立つ。

$$J_s \frac{d^2 \theta_s}{dt^2} = K_s (\theta_m - \theta_s) - D_s \frac{d \theta_s}{dt} \quad \dots (D)$$

(C) 式をラプラス変換すると、

$$J_m S^2 \theta_m(S) = \tau_m(S) - D_m S \theta_m(S) \\ - K_s (\theta_m(S) - \theta_s(S)) \\ (J_m S^2 + D_m S) \theta_m = \tau_m - K_s (\theta_m - \theta_s) \quad \dots (E)$$

となり、この場合のブロック線図は第4図(A)に示される。

一方、(D) 式をラプラス変換すると、

$$J_s S^2 \theta_s(S) = K_s (\theta_m(S) - \theta_s(S)) - D_s S \theta_s(S)$$

- 16 -

らかなように二次共振系としての特性を有し、この ω_{ns} 及び ζ_s の値は実験的に求めることができるものである。

一方、第4図(D)中の経路Xにおけるトルク τ_m に作用している負の信号量はボールネジ132の運動 (特に速度と加速度) によって生ずる外乱トルクであると考えられる。

次に、モータ112の電気的特性を考慮すると、モータ112は印加電圧 e_s に対して、その電気的特性にしたがって電流が流れ、トルクが発生してロータが回転する。このロータの角速度 ω_m に対する伝達特性のブロック線図が第5図(A)に示される。ここで、 L はモータ112の電機子巻線のインダクタンス、 R は同じく電機子巻線の抵抗、 Ψ は電機子鎖交磁束 (トルク定数) である。また、 $\Psi^2 / (LS + R)$ は D_m (内部制動係数) と置換えられ、第5図(B)のブロック線図となる。

第6図は以上の伝達特性を結合した場合の総合的なブロック線図である。同図はボールネジ13

- 18 -

2を弾性体とした駆動系の基本的な構成を示しており、図からも明らかなようにボールネジ132の回転運動に関連した外乱トルクを存在させている。すなわち、従来一般にこの外乱トルクは全く考慮されることがなかったが、本発明は、例えば一般の駆動装置はもちろんのこと、特に超高精度送り装置において問題があることが理解され、その解決方法として上記外乱トルクを打消す系をサーボ系に付与できることを意味する。

そこで、本発明はこの点に着目して、第1図に示すように振動補償部150を設けたもので、この場合のブロック線図が第7図に示される。同図は、本来駆動装置の駆動力伝達部に存在する外乱トルクの伝達要素160が加え合わせ点162に負の信号量として存在し、振動補償部150はこの外乱トルクの伝達要素164を信号量 $J_s(S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S)$ のラプラス変換式として算出することが可能である。

ここで、振動補償部150が信号量 $J_s(S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S)$ を算出する場合について説明する。

- 19 -

30で発生する外乱トルクを打消して、テーブル105で生ずる振動を抑制させることができるものである。

なお、同図の電流フィードバック、速度フィードバック及び可動部105の位置フィードバックは従来の駆動系の場合と同様である。

また、フィードバックを駆動力伝達部(第1図振動抑制器136)の位置に行なうものであるが、同図破線の如く加え合わせ点166(第1図駆動部110のモータドライバ114)の位置にフィードバックを行なっても同様の効果を有することは前述の通りである。この場合、フィードバック量にはモータ112の電気的特性が含まれる。

次に、第8図及び第9図に、本発明の他の実施例のブロック図及びブロック線図を示す。第8図及び第9図は、振動補償部150が前記外乱トルク量を算出するにあたり、該振動補償部150に速度検出器と加速度検出器を設けたものである。

第8図において、加速度計138より振動補償部150の加速度検出器152に可動部105の

上記信号量 S^2 は $d^2\theta/dt^2$ を変換したもので駆動力伝達部130のボールネジ132の回転加速度を示しており、また、 S は $d\theta/dt$ を変換したものでボールネジ132の回転速度を示している。従って、可動部であるテーブル105の運動はボールネジ132の回転変位 θ で表されることから、位置検出器142よりのテーブル105の位置信号からボールネジ132の回転変位 θ を取り出し、これによりボールネジ132の速度を算出し、加速度系138の信号によりボールネジ132の回転変位 θ を取り出して加速度を算出することで、上記 S^2 及び S を求める。そして、実験的に求めた定数($J_s, \zeta_s, \omega_{ns}$)を加算して駆動力伝達部で130で発生する外乱トルク量を算出する。

そして、この外乱トルク量を加え合わせ点162に正の信号量としてフィードバックしている。これは、第1図において、振動補償部150より振動抑制器136に振動抑制信号をフィードバックすることである。これにより、駆動力伝達部1

- 20 -

加速度信号が送られ、位置検出器142より速度検出器154に可動部105の速度信号が送られる。また、振動補償部150の加速度検出器152及び速度検出器154にはそれぞれフィルタ152a及び154aが設けられ、これらは演算器156に接続されている。そして、演算器156は振動抑制器136またはモータドライバ114に接続されている。例えば、加速度計138に圧電型加速度計を用い、この信号により加速度検出器152およびフィルタ152aを介して上述のラプラス変換式における S^2 の信号処理を行なう。また、速度検出器154は位置スケール140の信号を位置検出器142を介して位相差90度の二つの信号を取り出し、この信号をF/V変換(周波数からアナログ電圧に変換)し、フィルタ154aにより低域のみを変動要素分として上述のラプラス変換式における S の信号処理を行なう。そして、演算器156によりこれらを加算して外乱トルク量を算出しフィードバック量とする。

また、第9図のブロック線図で示すと、振動補

- 21 -

- 22 -

償部150における外乱トルク量の伝達特性164は、可動部105の速度と加速度により算出される。すなわち、速度の信号量はF/V変換器166の信号量 X_1 （ラプラス変換式のS）と、実験的に求められた可動部105の振動減衰係数 ζ 、及び固有振動係数 ω_n の伝達特性 $2\zeta\omega_n$ とで表され、加速度の信号量は加速度計138の信号量 X_2 （ラプラス変換式のS）で表される。これらを加算した信号量と、さらに駆動力伝達部130の慣性モーメント J を含む定数 K とが加算される。これがフィードバック量 J_1 （ $S^2 + 2\zeta\omega_n S$ ）として駆動力伝達部（第1図振動抑制部136）の位置である加え合わせ点162に、または駆動部110のモータドライブ114の位置である加え合わせ点166（同図破線）にフィードバックを行なうものである。しかし、加え合わせ点166にフィードバックする場合、定数 K にはモータ112の電気的特性（L、R、 Ψ ）が含まれる。

次に、外乱トルク量を位置検出器142から算

出する場合のブロック図を第10図に示す。同図において、振動補償部150は演算器158及びフィルタ158aを有し、可動部105における位置検出器142と接続されている。すなわち、可動部105の運動中に、位置検出器142からの信号を振動補償部150の演算器158において1階微分して可動部105の速度を算出して記憶し、2階微分して加速度を算出して記憶し、これらを加算して外乱トルク量を算出するものである。

この場合の外乱トルク量の算出を説明する。前述の如く可動部105の運動はボールネジ132の回転変位 θ で表されることから、位置検出器142よりの可動部105の位置信号からボールネジ132の回転変位 θ を取り出し、これを1階微分してボールネジ132の速度 $d\theta/dt$ を算出し、2階微分して加速度 $d^2\theta/dt^2$ を算出することで、前述の外乱トルク量 J_1 （ $S^2 + 2\zeta\omega_n S$ ）の S^2 及び S を求める。そして、実験的に求めた定数（ J 、 ζ 、 ω_n ）を加算して

- 23 -

駆動力伝達部で130で発生する外乱トルク量を算出する。

この算出した外乱トルク量をフィルタ158aを介して、前述の如く低域周波数のみの変動要素分を振動抑制器136またはモータドライブ114（同図破線）へのフィードバック量としている。これは、新たに構成部分を設けることなく外乱トルク量を算出することができ、小型の駆動装置で可動部の振動を抑制することが可能となる。

以上のように本実施例では、特にモータドライブ114に外乱トルク量をフィードバックした場合に一定周波数帯域で5～10dbの振動の減衰が可能であった。

なお、上記実施例の信号系はアナログ、デジタルのどちらでもよく、A/D変換またはD/A変換を行なえばよい。

また、上記実施例では、駆動部110におけるモータ112はサーボモータとして主にDCモータを使用する場合を示したが、ACモータを使用しても基本的な制御は同様である。例えば、トル

クを制御する場合、DCモータは電機子電流（スカラ量）を制御しているが、ACモータは交流の振幅と位相（ベクトル量）を制御すればよい。

さらに、上記実施例では一軸系のみを説明したが、これを複数用いて工作機械、X-Yテーブル等の二軸系で使用し、三次元測定機等の三軸系で使用するものでもよい。

[発明の効果]

上記実施例からも明らかなように本発明によれば、駆動装置の駆動系に本来存在する外乱トルクを振動補償部により算出し、これをフィードバックすることで打消すことにより、外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

また、算出する外乱トルクは位置検出及び加速度検出と実験的に得られる定数によりラプラス変換式で表すことができ、簡単な回路構成を加えるだけで駆動装置の外乱トルクをサーボ系に含められ、該外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

- 26 -

- 25 -

4. 図面の簡単な説明

- 第1図は本発明の概念図、
 第2図は振動抑制器の一例を示した概念部分図、
 第3図は本発明の駆動系モデル、
 第4図は駆動力伝達部のブロック線図、
 第5図はモータの電気的特性のブロック線図、
 第6図は駆動部、駆動力伝達部を結合した場合のブロック線図、
 第7図は本発明の振動補償部における信号量を含めたブロック線図、
 第8図は振動補償部に加速度検出器及び速度検出器を設けた場合のブロック図、
 第9図はそのブロック線図、
 第10図は位置信号のみで外乱トルクを算出する場合のブロック図、
 第11図は従来の駆動装置のブロック線図、
 第12図はその駆動系モデル、
 第13図は駆動装置の伝達特性を示したブロック線図、
 第14図は従来の駆動装置が振動状態で駆動する

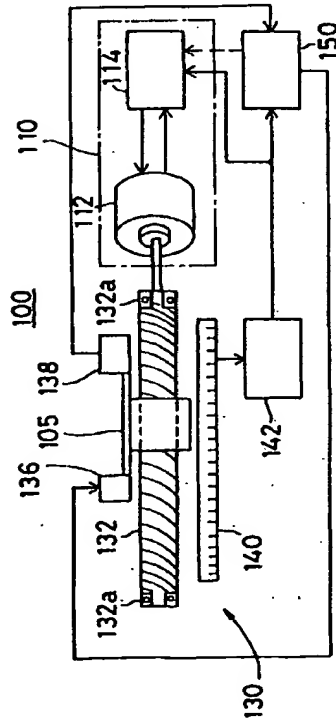
る場合の概念を示したグラフである。

- 105...可動部
 110...駆動部
 130...駆動力伝達部
 142...位置検出器
 150...振動補償部

出願人 株式会社 ミットヨ
 代理人 弁理士 岩橋 祐司

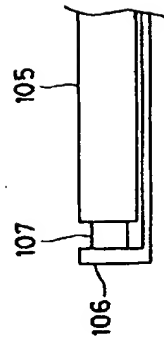
- 27 -

- 28 -

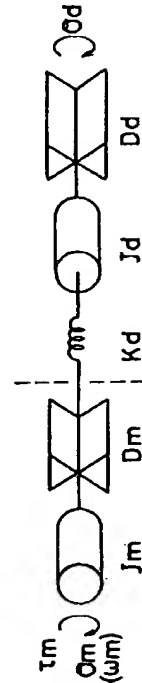


- 105--可動部
 110--駆動部
 130--駆動力伝達部
 142--位置検出器
 150--振動補償部

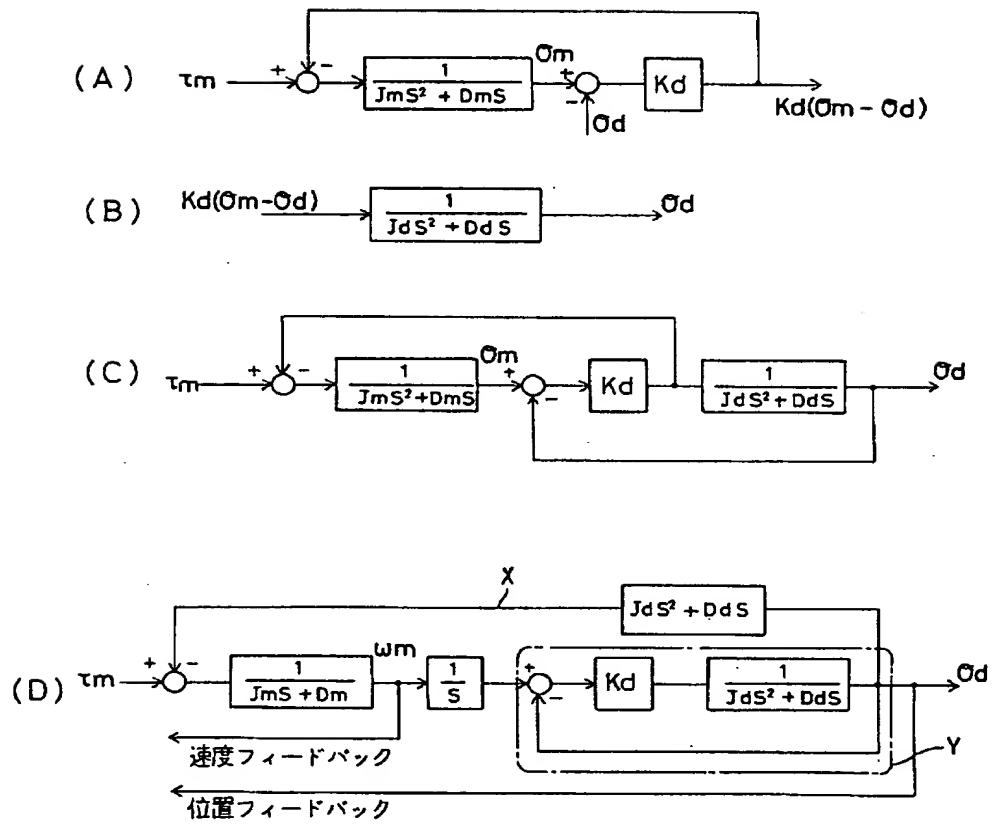
第1図



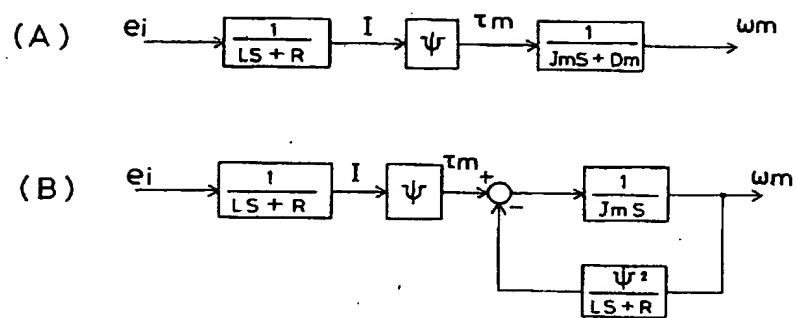
第2図



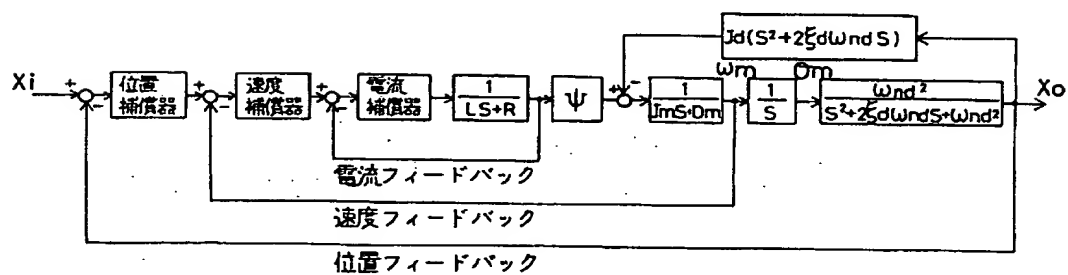
第3図



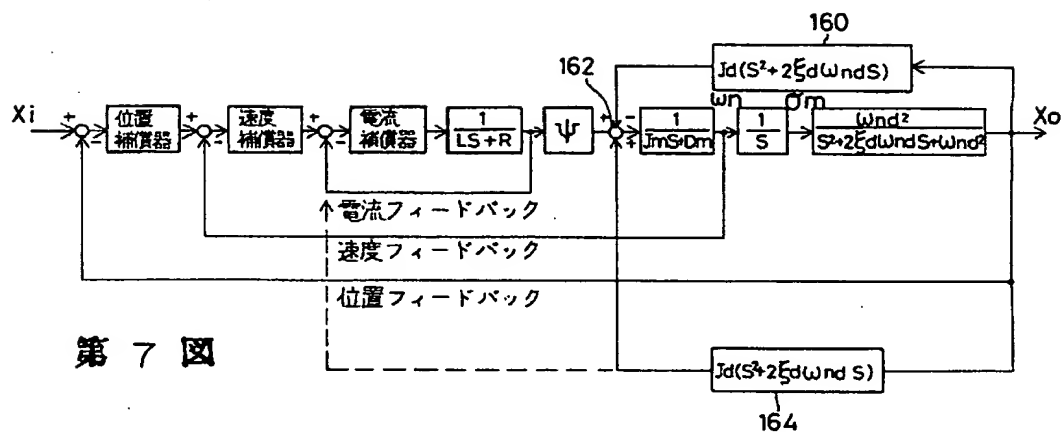
第 4 図



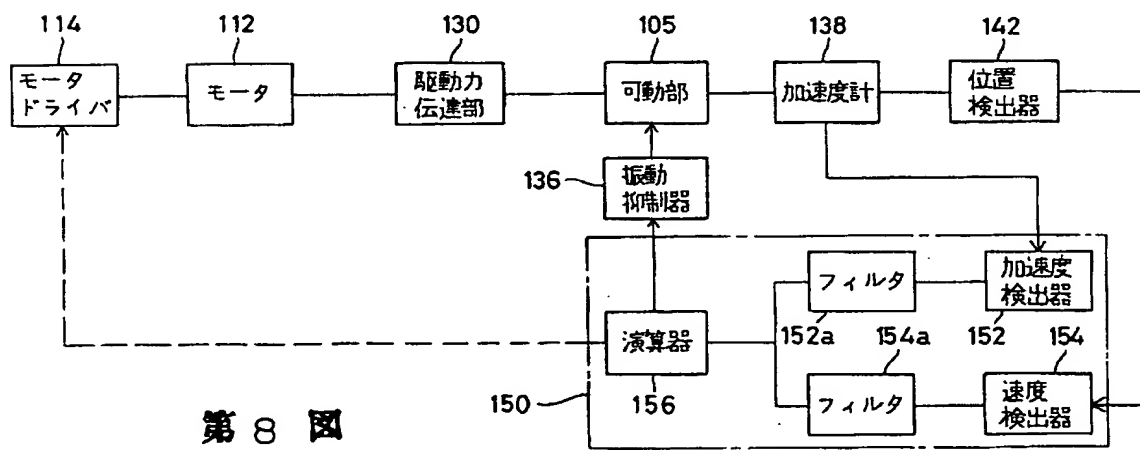
第 5 図



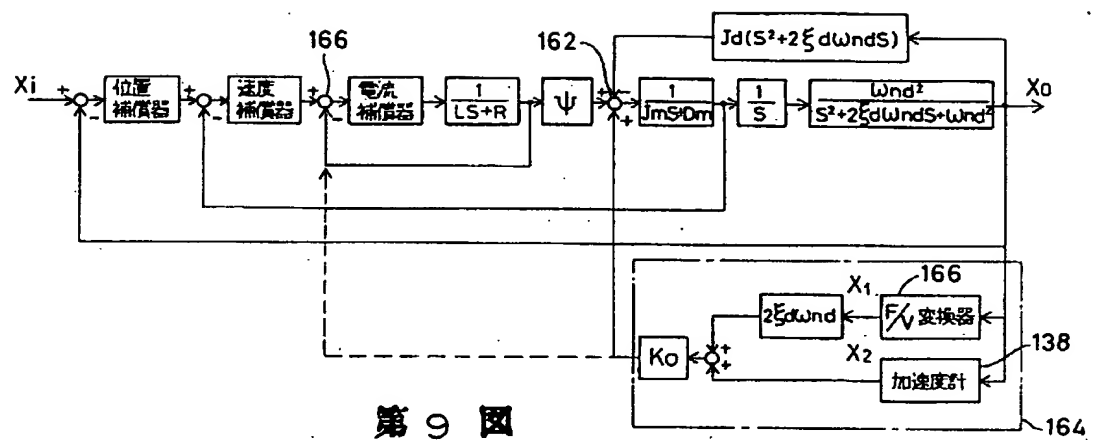
第 6 図



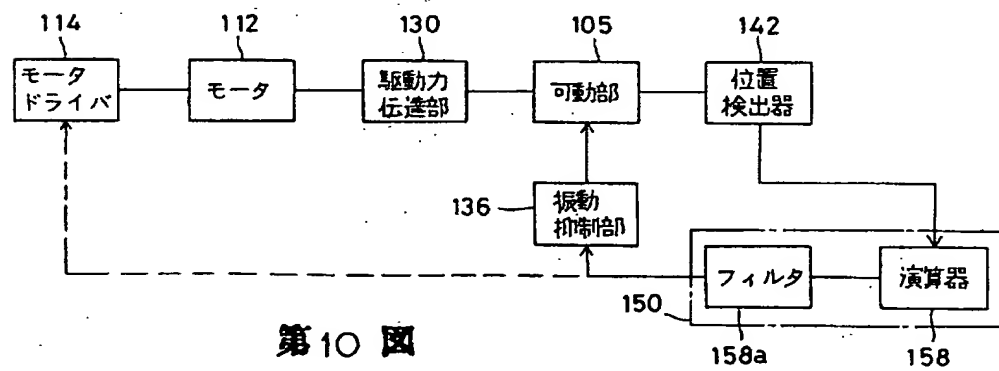
第 7 図



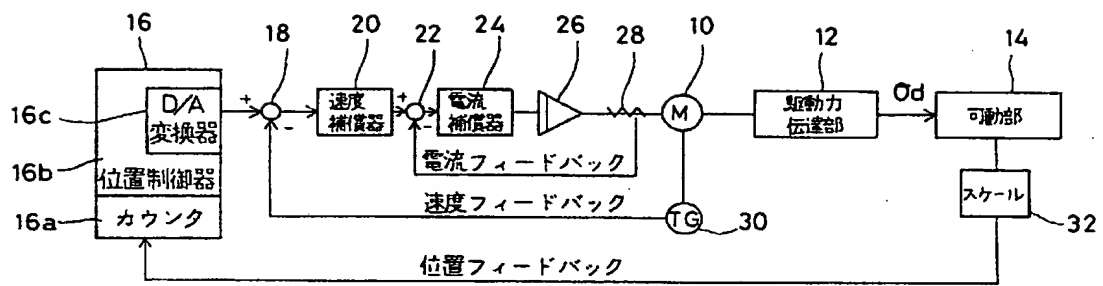
第 8 図



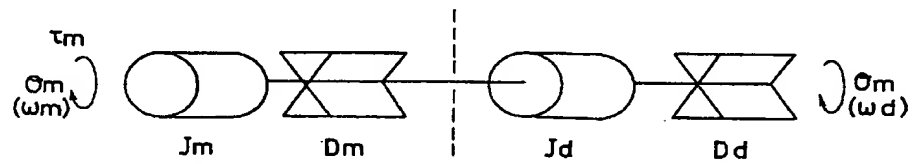
第 9 圖



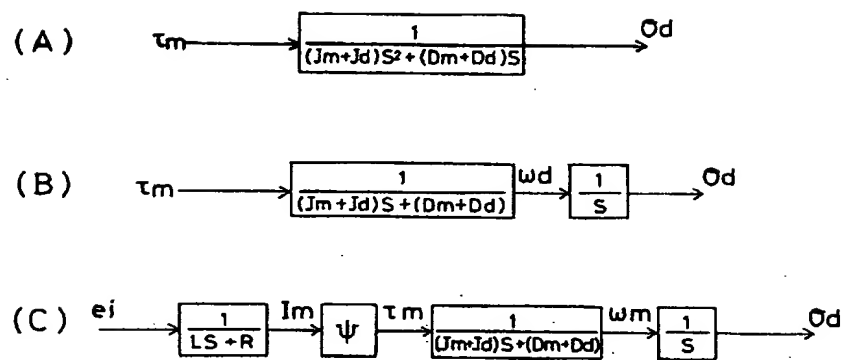
第10 回



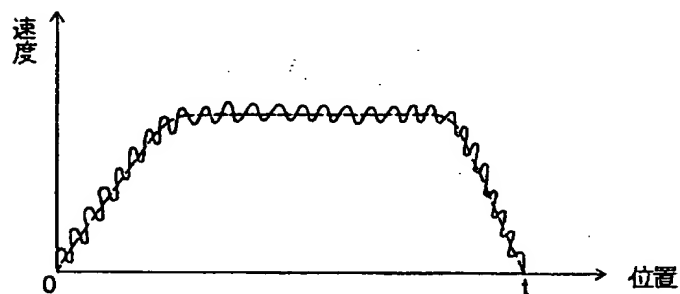
第 11 図



第 12 図



第13 図



第14 図

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-082303

(43)Date of publication of application : 22.03.1990

(51)Int.Cl. G05D 3/12

(21)Application number : 63-236126

(71)Applicant : MITSUTOYO CORP

(22)Date of filing : 19.09.1988

(72)Inventor : MIZUTANI TAKASHI
OBA NOBUO

(54) OSCILLATION SUPPRESSED DRIVING DEVICE

(57)Abstract:

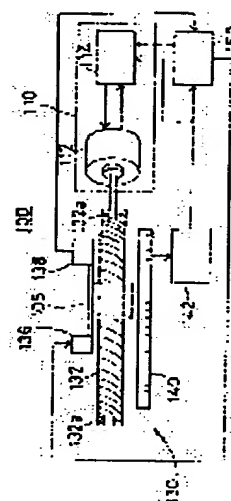
PURPOSE: To suppress oscillation of a mobile part due to disturbance torque during movement by providing an oscillation compensating part besides the mobile part, a driving power transmission part, and a driving part for the purpose of calculating the extent of disturbance torque to cancel the disturbance torque with a negative signal having the same extent.

CONSTITUTION: A table 105 whose relative position is changed by rotation of a ball screw 132 is provided with an oscillation suppressor 136 and an accelerometer 138. The position signal of the table 105 is detected by a position detector 142 and is sent to a motor driver 114 of a driving part 110 and an oscillation compensating part 150. Meanwhile, the oscillation compensating part 150 receives the signal of acceleration of the table 105 from the accelerometer 138 and sends an oscillation

suppression signal to the oscillation suppressor 136

or the motor driver 114 for the purpose of

suppressing oscillation of the table 105, and it is fed back. Since the disturbance torque of a driving device is included in a servo system in this manner, oscillation of the mobile part 105 due to disturbance torque is suppressed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

THIS PAGE LEFT BLANK

⑫ 公開特許公報(A)

平2-82303

⑬ Int. Cl.⁵

G 05 D 3/12

識別記号

3 0 5 Z

庁内整理番号

8209-5H

⑭ 公開 平成2年(1990)3月22日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全14頁)

⑮ 発明の名称 振動抑制駆動装置

⑯ 特 願 昭63-236126

⑰ 出 願 昭63(1988)9月19日

⑱ 発 明 者 水 谷 隆 神奈川県川崎市高津区坂戸165番地 株式会社ミットヨマ
イクロコード本部内⑲ 発 明 者 大 庭 信 男 神奈川県川崎市高津区坂戸165番地 株式会社ミットヨマ
イクロコード本部内

⑳ 出 願 人 株式会社ミットヨ 東京都港区芝5丁目31番19号

㉑ 代 理 人 弁理士 岩 橋 祐 司

明 細 書

1. 発明の名称

振動抑制駆動装置

2. 特許請求の範囲

(1) 所望の移動が可能な可動部と、

該可動部に所定の駆動力を伝達する駆動力伝達部と、

該駆動力伝達部に接続され、これに駆動力を加える駆動部と、

前記駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出し、該外乱トルク量を駆動力伝達部または前記駆動部にフィードバックして発生する外乱トルクを打消し、該外乱トルクによる前記可動部の振動を抑制する振動補償部と、

を備えることを特徴とする振動抑制駆動装置。

(2) 請求項(1)記載の振動抑制駆動装置において、

前記振動補償部は外乱トルク量を、

ラプラス変換式 $J_s \{ S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S \}$ (ここで、 J_s は前記駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ_s は前記可動部の振動減衰係数、 ω_{ns} は該可動部の固有振動係数)で求めることを特徴とする振動抑制駆動装置。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は駆動装置、特に駆動力伝達部の弾性に基づく可動部の振動を抑制する振動抑制駆動装置に関する。

[従来の技術]

近年、極めて高精度の加工あるいは測定等のため各種工作機械、X-Yテーブル、測定機等には可動部を正確に移動制御する駆動装置が強く要望されている。このような駆動装置としては、従来モータ等の駆動部より、例えばボールネジ等の駆動力伝達部を介して該駆動力伝達部に接続された

可動部（例えばテーブル、測定用プローブ等）を所定の移動制御しているものが多い。

この場合、可動部を所定位置に位置決めするために、可動部の位置を検出し、その位置信号等を駆動部にフィードバックして可動部の位置を制御するのが一般的である。

第 1 1 図にこのような従来の駆動装置のサーボ系におけるブロック線図の一例を示す。同図におけるブロック線図は、本来二軸系、三軸系において論ずべきものであるが、説明の便宜上一軸系を示している。

同図に示す駆動装置は、駆動部を構成する D C モータ 1 0 と、該 D C モータ 1 0 の駆動力をボールネジ等を介して伝達する駆動力伝達部 1 2 と、該駆動力伝達部 1 2 より駆動力を伝達され所定の運動を行なう可動部 1 4 と、を含む。そして、D C モータ 1 0 は位置制御部 1 6 より加え合わせ点 1 8、速度補償器 2 0、加え合わせ点 2 2、電流補償器 2 4、ドライバ 2 6 により駆動される。また、駆動力伝達部 1 2 は所定の駆動力伝達特性に

より可動部 1 4 に変位 θ_a の駆動量を与える。

ここで、位置制御部 1 6 はカウンタ 1 6 a、位置制御器 1 6 b 及び D/A 変換器 1 6 c を備える。また、ドライバ 2 6 の後段（出力端）には電流検出器 2 8 を備え、加え合わせ点 2 2 に負の信号により電流フィードバックを行なっている。さらに、D C モータ 1 0 の回転はタコメータ 3 0 を介して加え合わせ点 1 8 に負の信号により速度フィードバックを行なっている。また、D C モータ 1 0 の駆動に基づく可動部 1 4 の移動はスケール 3 2 のスケール信号（位置信号）として位置制御部 1 6 のカウンタ 1 6 a に位置フィードバックを行なっている。この位置制御部 1 6 ではマイクロコンピュータ等を用いてソフト的に位置制御処理を行ない、加え合わせ点 1 8、速度補償器 2 0、加え合わせ点 2 2、電流補償器 2 4 及びドライバ 2 6 でハード的に速度制御、電流制御処理を行ない、これらソフトの処理及びハードの処理により駆動制御を行なう。また、D C モータ 1 0 及び駆動力伝達部 1 2 において機構的処理を行なう。

— 3 —

このようなサーボ系を簡単に説明すると、まず位置制御部 1 6 で可動部 1 4 の所望の運動を設定し、その設定量に応じてドライバ 2 6 により D C モータ 1 0 を駆動する。D C モータ 1 0 が所定の電流によって駆動しているか否かを電流検出器 2 8 により検出すると共に、その検出量を加え合わせ点 2 2 に負の信号としてフィードバックし、電流補償器 2 4 により D C モータ 1 0 に所望の電流を供給すべく補償している。

また、D C モータ 1 0 の回転はタコメータ 3 0 により検出すると共に、その検出量は加え合わせ点 1 8 に負の信号としてフィードバックされ、速度補償器 2 0 により D C モータ 1 0 が所定速度で回転すべく補償している。

さらに、可動部 1 4 の位置はスケール 3 2 により検出され、スケール信号として位置制御部 1 6 のカウンタ 1 6 a にフィードバックして位置制御器 1 6 b により駆動量を補正し、D/A 変換器 1 6 c 等を介して可動部 1 4 の位置制御を行なっている。

— 5 —

— 4 —

次に、第 1 2 図に第 1 1 図における D C モータ 1 0 及び駆動力伝達部 1 2 の駆動系の負荷モデルを示す。ここでは負荷を剛的に結合した場合について説明する。同図において、駆動系の負荷をモータ側の負荷と駆動力伝達部側の負荷とに分け、モータ側の J_m はモータの慣性モーメント、 D_m は粘性摩擦係数であり、駆動力伝達部側の J_a は駆動系慣性モーメント、 D_a は粘性摩擦係数である。また、 τ_m はモータのロータへの印加トルク、 θ_m (ω_m) はモータのロータの回転変位（角速度）、 θ_a (ω_a) は駆動力伝達部 1 2 の変位（角速度）である。

この場合の運動方程式は以下の式ようになる。

$$\tau_m = J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + D_m \frac{d \theta_m}{dt} + J_a \frac{d^2 \theta_a}{dt^2} + D_a \frac{d \theta_a}{dt} \quad \dots (A)$$

(A) 式をラプラス変換すると、

$$\tau_m(s) = J_m s^2 \theta_m(s) + D_m s \theta_m(s) + J_a s^2 \theta_a(s) + D_a s \theta_a(s)$$

— 6 —

$$\tau_m = J_m S^2 \theta_m + D_m S \theta_m + K_m \theta_m + D_d S \theta_d$$

となり、ここで $\theta_m = \theta_d$ (剛的結合) であるから、
 $\tau_m = (J_m S^2 + D_m S + J_d S^2 + D_d S) \theta_d \cdots (B)$
 となる。

従って、モータのロータの印加トルク τ_m と駆動力伝達部の変位 θ_d との伝達特性は、

$$\frac{1}{(J_m + J_d) S^2 + (D_m + D_d) S}$$

となり (第 13 図 (A))、角速度 ω_d を分離すると第 13 図 (B) のようなブロック線図となる。

また、上記駆動系の負荷モデルに DC モータ 10 の電気的特性を含めたブロック線図が第 13 図 (C) に示される。ここで、伝達特性のうち L は電機子巻線のインダクタンス、 R は電機子巻線の抵抗、 Ψ は電機子鎖交磁束 (トルク定数) である。

このように、従来の駆動装置は上記のような駆動力の伝達特性を前提としたサーボ系によって制御されている。

- 7 -

定位置に達するまでの速度と位置との関係を示す。同図において、設定位置 t までの速度は滑らかな台形状の破線で示す軌跡を描くことが理想であるが、上記外乱トルクのために実際には実線で示す波型となり振動状態となる。この振動の振幅を小さくして精度を向上させるために、速度フィードバックや位置フィードバックのハイゲイン化が考えられるが、これによっても多少の振動抑制効果はあるが大幅な効果がなく精度の向上が図れなかった。

この結果、従来の駆動装置を用いた測定機等では測定精度の向上に限界が生じ、また、精密加工機等でも加工精度のより一層の改善の支障となっていた。

本発明は上記従来技術の課題に鑑みなされたもので、その目的は外乱トルクによる可動部の移動中の振動を抑制して速度制御、位置制御の精度を向上させる振動抑制駆動装置を提供せんとするものである。

- 9 -

[発明が解決しようとする課題]

ところで、DC モータ 10 と結合する駆動力伝達部 12 には剛性 K_d (第 2 図参照) があり、駆動力伝達部 12 の変位 θ_d によって剛性 K_d が発生し、これに起因する外乱トルクが存在するものである。しかしながら、従来の駆動装置における上記サーボ系による制御は、ブロック線図からも明らかなように DC モータ 10 を駆動する電流、その速度及び移動する可動部 14 の最終的な位置をフィードバックしているのみで、駆動中の駆動力伝達部 12 の変位 θ_d に伴う剛性 K_d による外乱トルクが考慮されていない。すなわち、實際上存在するモータ 10 と結合する駆動力伝達部 12 の剛性 K_d を無視して、第 12 図のように剛的結合として取扱ってきた。従って、この外乱トルクが可動部 14 の運動中に振動となって現れる。すなわち、この外乱トルクによって可動部 14 の運動軌跡にブレを生じ、速度制御の精度や位置制御の精度を向上することができないという問題があった。

第 14 図に、この場合における可動部 14 が設

- 8 -

[課題を解決するための手段]

本発明の振動抑制駆動装置は上記課題を解決するために、従来のサーボ系で考慮されていなかった外乱トルクをサーボ系に含めることに着目し、この外乱トルク量を算出して同量の負の信号により当該外乱トルクを打消すべく可動部、駆動力伝達部、駆動部に加えて振動補償部を備えたものである。

ここで、駆動力伝達部は駆動部に結合されると共に、可動部が接続されている。

また、振動補償部は駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出し、この外乱トルク量を駆動力伝達部または駆動部にフィードバックを行なう。

ここで、この振動補償部で算出される外乱トルク量は、ラプラス変換式 $J_d \{ S^2 + 2\zeta_d \omega_{nd} S \}$ (ここで、 J_d は駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ_d は可動部の振動減衰係数、 ω_{nd} は可動部の固有振動係数) により求めることが好適である。

[作用]

- 10 -

本発明の振動抑制駆動装置は可動部、駆動力伝達部、駆動部と共に振動補償部を備えている。この振動補償部は駆動力伝達部で発生する外乱トルク量を算出すると共に、この外乱トルク量を駆動力伝達部または駆動部にフィードバックする。これにより駆動力伝達部に発生する外乱トルクを打消し、外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

また、この補償回路部で算出される外乱トルク量は、結果的にラプラス変換式 $J_s \{ S^2 + 2\zeta \omega_n S \}$ で求めることが可能である。ここで、 J_s は駆動力伝達部の慣性モーメント、 ζ は可動部の振動減衰係数、 ω_n は可動部の固有振動係数である。すなわち、 J_s 、 ζ 、 ω_n は駆動装置固有の係数値として実験的に求めることができ、外乱トルク量を駆動装置のサーボ系に含めることが可能となる。

[実施例]

以下、本発明の好ましい実施例を図により説明

— 11 —

駆動部 110 のモータドライバ 114 及び振動補償部 150 に位置信号を送出する。

一方、振動補償部 150 は加速度計 138 よりテーブル 105 の加速度の信号を受信し、テーブル 105 の振動を抑制すべく振動抑制信号を振動抑制器 136 またはモータドライバ 114 に送出してフィードバックする。この場合、振動抑制器 136 またはモータドライバ 114 のどちらかに振動抑制信号をフィードバックするとしたのは、どちらでもテーブル 105 の振動を抑制することが可能であり、モータドライバ 114 にフィードバックする場合にはモータ 112 の電気的特性をフィードバック量に含めることが必要である。

ここで、第 2 図に振動抑制器 136 の一例の部分図を示す。同図において、テーブル 105 が箱状の保持部材 106 に載置されており、保持部材 106 とテーブル 105 との側部に該保持部材 106 及びテーブル 105 に当接して圧電素子 107 を設けている。そして、この圧電素子 107 が振動補償部 150 に接続されるものである。

— 13 —

する。

第 1 図に本発明の振動抑制駆動装置の概念図を示す。なお、本実施例では便宜上一軸系のみについて説明する。同図において、振動抑制駆動装置 100 は可動部 105、駆動部 110、駆動力伝達部 130 及び振動補償部 150 によって構成されている。

駆動部 100 はモータ 112 とこれを駆動させるモータドライバ 114 により構成される。また、駆動力伝達部 130 はモータ 112 の回転軸にはボールネジ 132 がベアリング等の連結部 132a を介して直接に接続されている。また、ボールネジ 132 にはその回転により相対位置を変更するテーブル等の可動部 105 が螺合して設けられ、該テーブル 105 に振動抑制器 136 及び加速度計 138 が設けられている。

さらに、ボールネジ 132 には位置スケール 140 が並設され、これに位置検出器 142 が設けられており、テーブル 105 の位置信号を位置検出器 142 により検出する。位置検出器 142 は

— 12 —

次に、第 1 図に示す振動抑制装置の動作について説明する。まず、可動部であるテーブル 105 を所定位置に移動すべくその設定量がモータドライバ 114 に記憶されており、これによりモータ 112 がボールネジ 132 を回転させる。この場合にモータドライバ 114 はモータ 112 が所定電流、所定速度で駆動しているか否かをフィードバックにより制御している（第 10 図参照）。また、テーブル 105 の位置変位は位置スケール 140、位置検出器 142 により検出し、モータドライバ 114 を介してモータ 112 を制御する。

一方、振動補償部 150 は、位置検出器 142 からの位置信号と可動部 105 に設けられた加速度計 138 からの加速度信号により、駆動力伝達部 130、特にボールネジ 132 で発生する外乱トルク量を算出する。そして、算出した外乱トルク量を駆動部 110 のモータドライバ 114 または駆動力伝達部 130 の振動抑制器 144 にフィードバックする。すなわち、発生した外乱トルクと同量の信号をフィードバックすることによって

— 14 —

外乱トルクを打消し、外乱によって生ずる可動部 105 の振動を抑制するものである。

次に、動作原理を説明すると共に、従来把握が困難であった可動部の振動の原因となる外乱トルクをサーボ系に含めることが可能となることを明らかにする。上記振動抑制駆動装置 100 は第 3 図の駆動系の負荷モデルによって表される。同図において、駆動系の負荷をモータ側の負荷と駆動力伝達部側の負荷とに分け、モータ側の負荷のうち J_m はモータ 112 の慣性モーメント、 D_m は粘性摩擦係数であり、駆動力伝達部側の負荷のうち J_s は駆動力伝達部 130 の駆動系慣性モーメント、 D_s は粘性摩擦係数である。また、 K_s はモータ 112 の回転軸と駆動力伝達部 130 のボールネジ 132 とをそれぞれ弾性体と考えた場合の剛性値、 τ_m はモータ 112 のロータへの印加トルク、 θ_m (ω_m) はモータ 112 のロータの回転変位 (角速度)、 θ_s はボールネジ 132 の回転変位である。この場合、モータ 112 のロータにトルク τ_m が発生したときのモータ側 (入力側) で

は以下の運動方程式が成立つ。

$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = \tau_m - D_m \frac{d \theta_m}{dt} - K_s (\theta_m - \theta_s) \quad \dots\dots (C)$$

また、駆動力伝達部側 (出力側) では以下の運動方程式が成立つ。

$$J_s \frac{d^2 \theta_s}{dt^2} = K_s (\theta_m - \theta_s) - D_s \frac{d \theta_s}{dt} \quad \dots\dots (D)$$

(C) 式をラプラス変換すると、

$$\begin{aligned} J_m S^2 \theta_m (S) &= \tau_m (S) - D_m S \theta_m (S) \\ &\quad - K_s (\theta_m (S) - \theta_s (S)) \\ (J_m S^2 + D_m S) \theta_m &= \tau_m - K_s (\theta_m - \theta_s) \quad \dots\dots (E) \end{aligned}$$

となり、この場合のブロック線図は第 4 図 (A) に示される。

一方、(D) 式をラプラス変換すると、

$$J_s S^2 \theta_s (S) = K_s (\theta_m (S) - \theta_s (S)) - D_s S \theta_s (S)$$

- 15 -

$$\theta_s = \frac{K_s (\theta_m - \theta_s)}{(J_s S^2 + D_s S)} \quad \dots\dots (F)$$

となり、この場合のブロック線図は第 4 図 (B) に示される。

これらを結合してトルク τ_m とボールネジ 132 の回転変位 θ_s 間における伝達要素のブロック線図が第 4 図 (C) に示される。

また、検出器等による速度フィードバック、位置フィードバックを考慮し、さらに等価変換すると第 4 図 (D) のブロック線図となる。同図において、破線 Y 内の各伝達要素内の伝達特性を伝達関数 $G_s (S)$ で表して整理すると、

$$\begin{aligned} G_s (S) &= \frac{K_s / (J_s S^2 + D_s S)}{1 + K_s / (J_s S^2 + D_s S)} \\ &= \frac{\omega_{ss}^2}{S^2 + 2\zeta_s \omega_{ss} S + \omega_{ss}^2} \quad \dots\dots (G) \end{aligned}$$

となる。ここで、 ω_{ss}^2 は K_s / J_s 、 $2\zeta_s \omega_{ss}$ は D_s / J_s と置換えたもので、 ω_{ss} はテーブル 105 の固有振動係数であり、 ζ_s はその振動減衰係数である。すなわち、 $G_s (S)$ は上式からも明

- 17 -

- 16 -

らかなように二次共振系としての特性を有し、この ω_{ss} 及び ζ_s の値は実験的に求めることができるものである。

一方、第 4 図 (D) 中の経路 X におけるトルク τ_m に作用している負の信号量はボールネジ 132 の運動 (特に速度と加速度) によって生ずる外乱トルクであると考えられる。

次に、モータ 112 の電気的特性を考慮すると、モータ 112 は印加電圧 e_i に対して、その電気的特性にしたがって電流が流れ、トルクが発生してロータが回転する。このロータの角速度 ω_m に対する伝達特性のブロック線図が第 5 図 (A) に示される。ここで、 L はモータ 112 の電機子巻線のインダクタンス、 R は同じく電機子巻線の抵抗、 Ψ は電機子鎖交磁束 (トルク定数) である。また、 $\Psi^2 / (L S + R)$ は D_m (内部制動係数) と置換えられ、第 5 図 (B) のブロック線図となる。

第 6 図は以上の伝達特性を結合した場合の総合的なブロック線図である。同図はボールネジ 13

- 18 -

2を弾性体とした駆動系の基本的な構成を示しており、図からも明らかなようにボールネジ132の回転運動に関連した外乱トルクを存在させている。すなわち、従来一般にこの外乱トルクは全く考慮されることがなかったが、本発明は、例えば一般の駆動装置はもちろんのこと、特に超高精度送り装置において問題があることが理解され、その解決方法として上記外乱トルクを打消す系をサーボ系に付与できることを意味する。

そこで、本発明はこの点に着目して、第1図に示すように振動補償部150を設けたもので、この場合のブロック線図が第7図に示される。同図は、本来駆動装置の駆動力伝達部に存在する外乱トルクの伝達要素160が加え合わせ点162に負の信号量として存在し、振動補償部150はこの外乱トルクの伝達要素164を信号量 $J_s \{S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S\}$ のラプラス変換式として算出することが可能である。

ここで、振動補償部150が信号量 $J_s \{S^2 + 2\zeta_s \omega_{ns} S\}$ を算出する場合について説明する。

— 19 —

30で発生する外乱トルクを打消して、テーブル105で生ずる振動を抑制させることができるものである。

なお、同図の電流フィードバック、速度フィードバック及び可動部105の位置フィードバックは従来の駆動系の場合と同様である。

また、フィードバックを駆動力伝達部（第1図振動抑制器136）の位置に行なうものであるが、同図破線の如く加え合わせ点166（第1図駆動部110のモータドライバ114）の位置にフィードバックを行なっても同様の効果を有することは前述の通りである。この場合、フィードバック量にはモータ112の電気的特性が含まれる。

次に、第8図及び第9図に、本発明の他の実施例のブロック図及びブロック線図を示す。第8図及び第9図は、振動補償部150が前記外乱トルク量を算出するにあたり、該振動補償部150に速度検出器と加速度検出器を設けたものである。

第8図において、加速度計138より振動補償部150の加速度検出器152に可動部105の

上記信号量中 $S^2 d\theta_s / dt^2$ を変換したもので駆動力伝達部130のボールネジ132の回転加速度を示しており、また、 S は $d\theta_s / dt$ を変換したものでボールネジ132の回転速度を示している。従って、可動部であるテーブル105の運動はボールネジ132の回転変位 θ_s で表されることから、位置検出器142よりのテーブル105の位置信号からボールネジ132の回転変位 θ_s を取り出し、これによりボールネジ132の速度を算出し、加速度系138の信号によりボールネジ132の回転変位 θ_s を取り出して加速度を算出することで、上記 S^2 及び S を求める。そして、実験的に求めた定数（ J_s 、 ζ_s 、 ω_{ns} ）を加算して駆動力伝達部で130で発生する外乱トルク量を算出する。

そして、この外乱トルク量を加え合わせ点162に正の信号量としてフィードバックしている。これは、第1図において、振動補償部150より振動抑制器136に振動抑制信号をフィードバックすることである。これにより、駆動力伝達部1

— 20 —

加速度信号が送られ、位置検出器142より速度検出器154に可動部105の速度信号が送られる。また、振動補償部150の加速度検出器152及び速度検出器154にはそれぞれフィルタ152a及び154aが設けられ、これらは演算器156に接続されている。そして、演算器156は振動抑制器136またはモータドライバ114に接続されている。例えば、加速度計138に圧電型加速度計を用い、この信号により加速度検出器152およびフィルタ152aを介して上述のラプラス変換式における S^2 の信号処理を行なう。また、速度検出器154は位置スケール140の信号を位置検出器142を介して位相差90度の二つの信号を取り出し、この信号をF/V変換（周波数からアナログ電圧に変換）し、フィルタ154aにより低域のみを変動要素分として上述のラプラス変換式における S の信号処理を行なう。そして、演算器156によりこれらを加算して外乱トルク量を算出しフィードバック量とする。

また、第9図のブロック線図で示すと、振動補

— 21 —

— 22 —

償部 150 における外乱トルク量の伝達特性 164 は、可動部 105 の速度と加速度により算出される。すなわち、速度の信号量は F/V 変換器 166 の信号量 X_1 (ラプラス変換式の S) と、実験的に求められた可動部 105 の振動減衰係数 ζ 、及び固有振動係数 ω_n の伝達特性 $2\zeta\omega_n S$ とで表され、加速度の信号量は加速度計 138 の信号量 X_2 (ラプラス変換式の S^2) で表される。これらを加算した信号量と、さらに駆動力伝達部 130 の慣性モーメント J を含む定数 K とを加算される。これがフィードバック量 $J\{S^2 + 2\zeta\omega_n S\}$ として駆動力伝達部 (第 1 図振動抑制部 136) の位置である加え合わせ点 162 に、または駆動部 110 のモータドライブ 114 の位置である加え合わせ点 166 (同図破線) にフィードバックを行なうものである。しかし、加え合わせ点 166 にフィードバックする場合、定数 K にはモータ 112 の電気的特性 (L, R, Ψ) が含まれる。

次に、外乱トルク量を位置検出器 142 から算

- 23 -

駆動力伝達部で 130 で発生する外乱トルク量を算出する。

この算出した外乱トルク量をフィルタ 158 a を介して、前述の如く低域周波数のみの変動要素分を振動抑制器 136 またはモータドライブ 114 (同図破線) へのフィードバック量としている。これは、新たに構成部分を設けることなく外乱トルク量を算出することができ、小型の駆動装置で可動部の振動を抑制することが可能となる。

以上のように本実施例では、特にモータドライブ 114 に外乱トルク量をフィードバックした場合に一定周波数帯域で 5 ~ 10 db の振動の減衰が可能であった。

なお、上記実施例の信号系はアナログ、デジタルのどちらでもよく、 A/D 変換または D/A 変換を行なえばよい。

また、上記実施例では、駆動部 110 におけるモータ 112 はサーボモータとして主に DC モータを使用する場合を示したが、AC モータを使用しても基本的な制御は同様である。例えば、トル

- 25 -

出する場合のブロック図を第 10 図に示す。同図において、振動補償部 150 は演算器 158 及びフィルタ 158 a を有し、可動部 105 における位置検出器 142 と接続されている。すなわち、可動部 105 の運動中に、位置検出器 142 からの信号を振動補償部 150 の演算器 158 において 1 階微分して可動部 105 の速度を算出して記憶し、2 階微分して加速度を算出して記憶し、これらを加算して外乱トルク量を算出するものである。

この場合の外乱トルク量の算出を説明する。前述の如く可動部 105 の運動はボールネジ 132 の回転変位 θ で表されることから、位置検出器 142 よりの可動部 105 の位置信号からボールネジ 132 の回転変位 θ を取り出し、これを 1 階微分してボールネジ 132 の速度 $d\theta/dt$ を算出し、2 階微分して加速度 $d^2\theta/dt^2$ を算出することで、前述の外乱トルク量 $J\{S^2 + 2\zeta\omega_n S\}$ の S^2 及び S を求める。そして、実験的に求めた定数 (J, ζ, ω_n) を加算して

- 24 -

クを制御する場合、DC モータは電機子電流 (スカラー量) を制御しているが、AC モータは交流の振幅と位相 (ベクトル量) を制御すればよい。

さらに、上記実施例では一軸系のみを説明したが、これを複数用いて工作機械、X-Y テーブル等の二軸系で使用し、三次元測定機等の三軸系で使用するものでもよい。

[発明の効果]

上記実施例からも明らかなように本発明によれば、駆動装置の駆動系に本来存在する外乱トルクを振動補償部により算出し、これをフィードバックすることで打消すことにより、外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

また、算出する外乱トルクは位置検出及び加速度検出と実験的に得られる定数によりラプラス変換式で表すことができ、簡単な回路構成を加えるだけで駆動装置の外乱トルクをサーボ系に含められ、該外乱トルクにより生ずる可動部の振動を抑制することができる。

- 26 -

4. 図面の簡単な説明

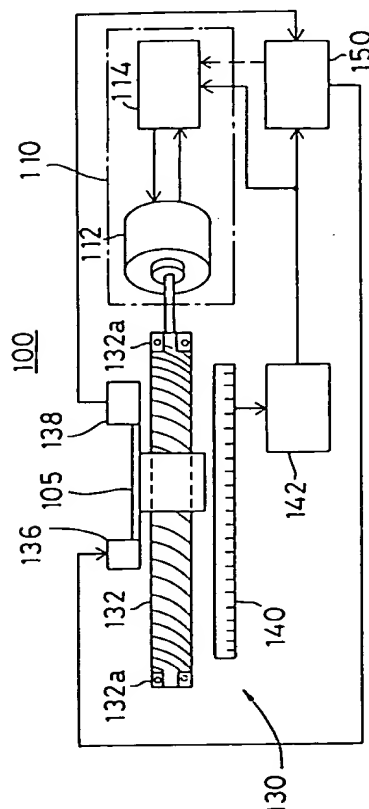
- 第1図は本発明の概念図、
 第2図は振動抑制器の一例を示した概念部分図、
 第3図は本発明の駆動系モデル、
 第4図は駆動力伝達部のブロック線図、
 第5図はモータの電気的特性のブロック線図、
 第6図は駆動部、駆動力伝達部を結合した場合のブロック線図、
 第7図は本発明の振動補償部における信号量を含めたブロック線図、
 第8図は振動補償部に加速度検出器及び速度検出器を設けた場合のブロック図、
 第9図はそのブロック線図、
 第10図は位置信号のみで外乱トルクを算出する場合のブロック図、
 第11図は従来の駆動装置のブロック線図、
 第12図はその駆動系モデル、
 第13図は駆動装置の伝達特性を示したブロック線図、
 第14図は従来の駆動装置が振動状態で駆動す

る場合の概念を示したグラフである。

- 105…可動部
 110…駆動部
 130…駆動力伝達部
 142…位置検出器
 150…振動補償部

出願人 株式会社 ミットヨ
 代理人 弁理士 岩橋 祐司

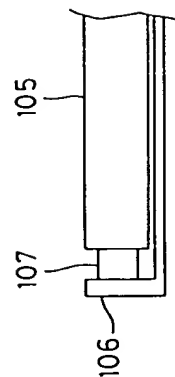
— 27 —



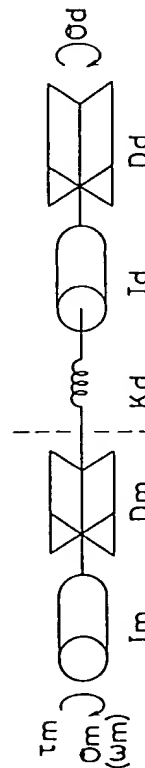
第1図

- 105--可動部
 110--駆動部
 130--駆動力伝達部
 142--位置検出器
 150--振動補償部

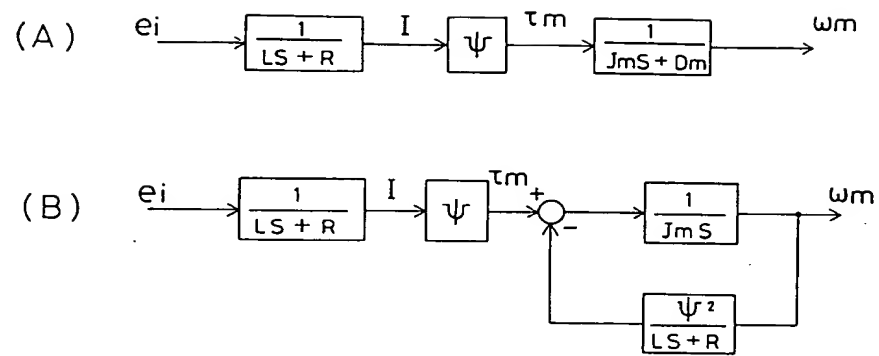
— 28 —



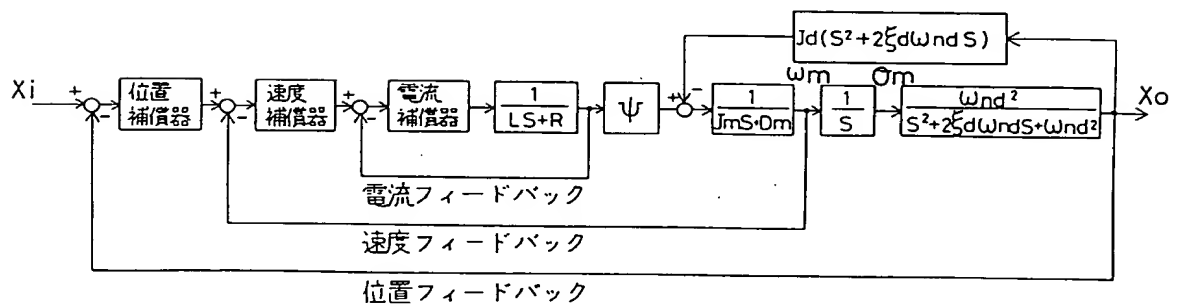
第2図



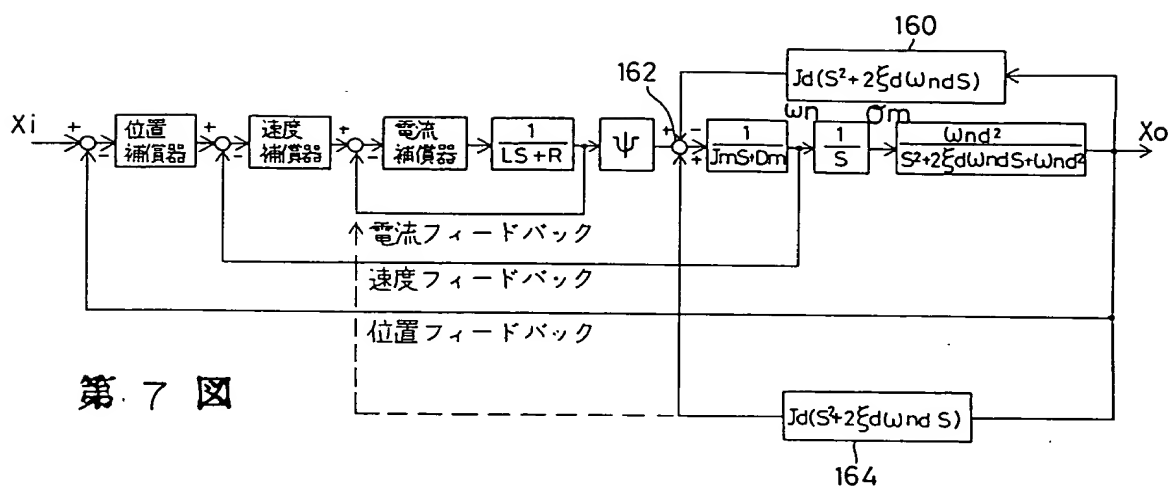
第3図



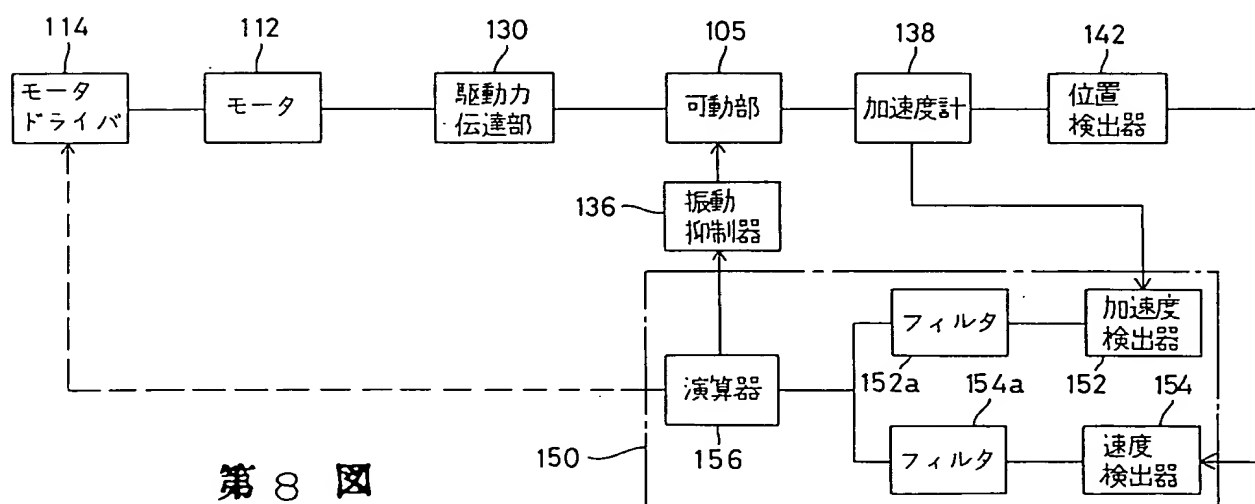
第 5 図



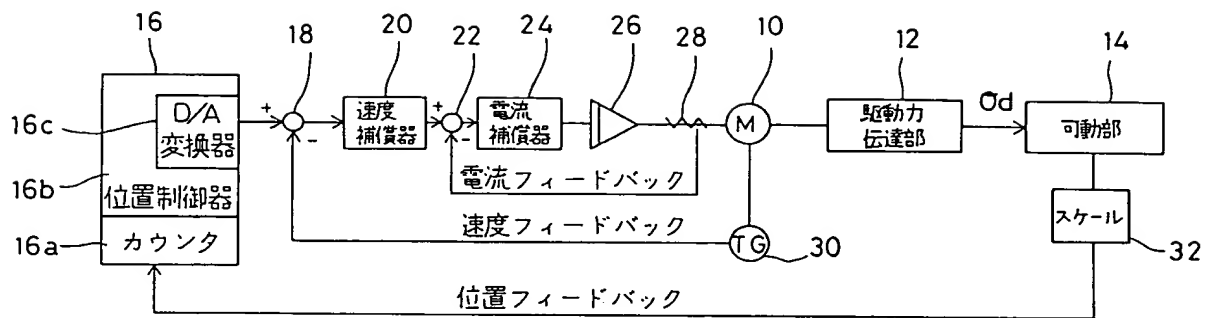
第 6 図



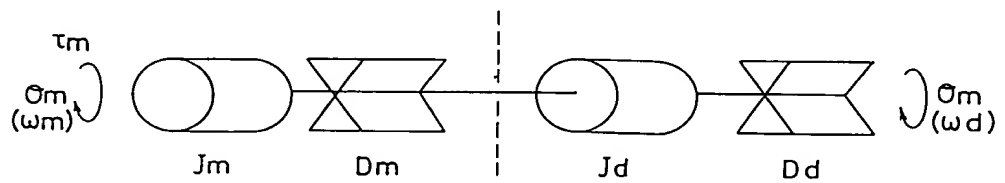
第 7 図



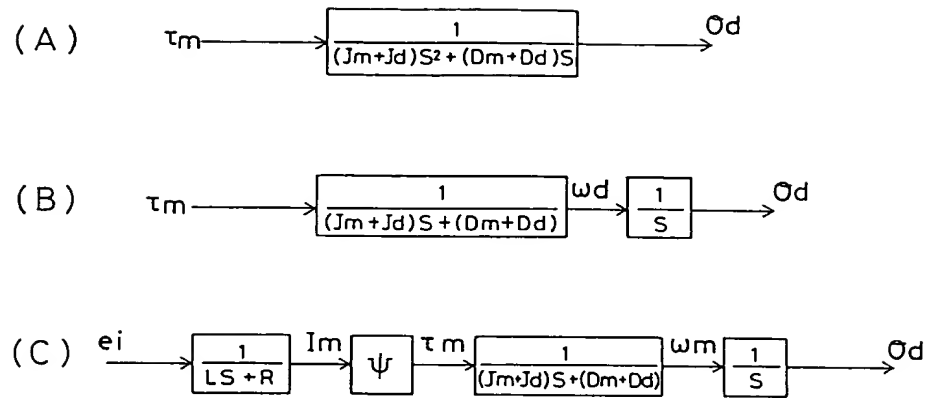
第 8 図



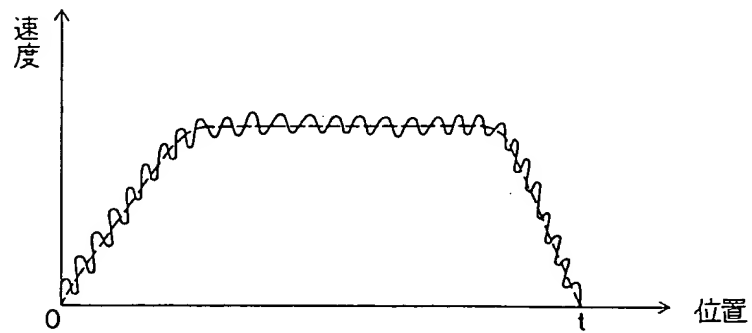
第 11 図



第 12 図



第13 図



第14 図

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.